

УДК 004.896; 004.932

¹Д.Д. Пелешко, д-р техн. наук, професор,
¹Ю.С. Іванов, канд. техн. наук, ¹І.В. Ізонін, канд. техн. наук,
¹(Національний університет «Львівська політехніка»,
²М.З. Пелешко, канд. техн. наук, доцент, ²О.П. Максимів
²(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ВІДСЛІДКОВУВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ У ВІДЕОПОТОКАХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Описано новий метод відслідковування рухомих об'єктів в полі зору декількох камер відеоспостереження. Основною особливістю розробленого методу є можливість роботи в режимі реального часу завдяки значному зменшенню процедурної складності. На основі розробленого методу створено систему багатокамерної ідентифікації та супроводу руху транспортних засобів. Результати практичних експериментів щодо роботи системи показують високу точність ідентифікації рухомих об'єктів, побудову точної траєкторії їх руху та можливість їх супроводу. Численні практичні експерименти підтвердили ефективність використання розробленого методу у системах відеоспостереження, що містять до 8 камер.

Ключові слова – трекінг рухомих об'єктів, розподілена система відслідковування рухомих об'єктів, відео ряд, поле зору, об'єкт уваги, ідентифікація руху, визначення траєкторій руху, ознаки подібності.

Д.Д. Пелешко, Ю.С. Іванов, І.В. Ізонін, М.З. Пелешко, О.П. Максимів

ОТСЛЕЖИВАНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ В ВИДЕОПОТОКАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Описан новый метод отслеживания движущихся объектов в поле зрения нескольких камер видеонаблюдения. Основной особенностью разработанного метода является возможность работы в режиме реального времени за счет значительного уменьшения процедурной сложности. На основе разработанного метода создана система многокамерной идентификации и сопровождения движения транспортных средств. Результаты практических экспериментов по работе системы показывают высокую точность идентификации движущихся объектов, построение точной траектории их движения и возможность их сопровождения. Многочисленные практические эксперименты подтвердили эффективность использования разработанного метода в системах видеонаблюдения, содержащих до 8 камер.

Ключевые слова: трекинг движущихся объектов, распределенная система отслеживания движущихся объектов, видео ряд, поле зрения, объект внимания, идентификация движения, определение траекторий движения, признаки сходства.

D. D. Peleshko, Yu. S. Ivanov, I. V. Izonin, M. Z. Peleshko, O.P. Maksymiv

MOVING OBJECTS TRACKING IN REAL TIME VIDEOSTREAMS

This article describes a new method for tracking moving objects in the field of multiple cameras. The main feature of the proposed method is the ability to work in real time by significantly reducing procedural complexity. Based on this method, authors developed system to identify and support transport traffic. The results of practical experiments on the system show high accuracy of identification of moving objects, building the exact trajectory of their movement and possibility of them accompanied. Numerous practical experiments confirmed the efficiency of the proposed method in video surveillance systems with up to 8 cameras.

Key words: tracking moving objects, distributed tracking system moving objects, video row field of vision, the object of attention, motion identification, determination of trajectories, signs of similarity.

Вступ

Із сучасним рівнем технологічного розвитку суспільства, технології багатокамерного супроводу стали затребуваними у найрізноманітніших областях діяльності людини. Наприклад у таких, як транспорт, реклама, маркетинг, охорона, безпека, управління і ін.

Визначальною властивістю сучасних систем відеоспостереження є автоматичне визначення траєкторії руху об'єктів уваги в інтегральному полі зору, яке визначається множиною цифрових пристроїв реєстрації, зазвичай відеокамер. Найбільшу практичну цінність становить трекінг об'єктів у режимі реального часу.

Фізичне розміщення системи камер породжує необхідність враховувати топології розміщення самих камер та геометрію простору (зони уваги, зони спостереження).

Зазначимо, що існують й інші додаткові фактори, які суттєво ускладнюють задачу трекінгу у розподілених системах відеоспостереження. Серед них типовими є такі:

- кількість об'єктів уваги;
- інваріантність характеристичних ознак при переходах між камерами;
- ракурси камер системи, з яких формується інтегральна зона спостереження;
- різні умови реєстрації об'єктів уваги;
- різна якість камер.

Усе це в сукупності суттєво збільшує навантаження на обчислювальні ресурси програмно-апаратної системи у порівнянні із випадком трекінгу при однокамерному супроводі рухомих об'єктів.

Викладена вище констатація проблем багатокамерного супроводу не означає, що усі проблеми однокамерного трекінгу є вирішеними. Наприклад, проблеми густини об'єктів уваги у потоці, динамічні зміни їх відображень, слабка сепарація та сліпі зони залишаються одними із найскладніших і невирішених на сьогодні проблем однокамерного трекінгу в реальному часі.

У багатьох випадках зростання необхідної обчислювальної потужності унеможлиблює використання типових підходів (методів, алгоритмів), які використовуються при однокамерному трекінгу. Наприклад, відокремлена обробка потоку кадрів по кожному каналу зазвичай є неможливою.

Тому сучасний багатокамерний трекінг базується на двох гіпотезах (припущеннях):

1. Існує найбільш імовірна траєкторія руху об'єкта при виході із поля зору будь-якої камери системи відоспостереження.

2. Обробка потоків кадрів повинна бути інтегральною – тобто по усіх каналах.

Існуючі на сьогодні стратегії та методи підвищення ефективності розподіленого трекінгу наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Напрями вдосконалення систем розподіленого трекінгу

№	Стратегія	Спосіб
1	2	3
1	Підвищення якості кадрів відеопотоків	Використання апаратних засобів з покращеними характеристиками; алгоритми попереднього опрацювання зображень
2	Вдосконалення методів ідентифікації та супроводу у випадку однокамерного трекінгу	Методи інтелектуального аналізу просторової та частотної областей та їх комбінації; часова інкапсуляція даних
3	Вдосконалення методів ідентифікації та супроводу у випадку багатокамерного трекінгу	Виділення стійких до шуму та інваріантних до зміни відеопотоку характеристичних ознак; імовірнісні методи побудови траєкторії в складних умовах; методи з елементами адаптивного керування апаратним забезпеченням системи відеоспостереження

1	2	3
4	Вдосконалення архітектур систем відеоспостереження	Вбудовані алгоритми попереднього опрацювання, компресії та декомпресії: методи управління трафіком та оптимізації топології розміщення камер для мінімізації негативного впливу проблем сепарованості, сліпих зон та ракурсів
5	Збільшення об'єму потоків даних для підвищення точності ідентифікації та супроводу	Управління кількістю камер та їх роботою; критеріальне керування трафіком даних;

Найбільш популярні сучасні методи супроводу рухомих об'єктів в online режимі можна розбити на три групи:

- Методи на основі виділення їх контурів. Методи цієї групи є найбільш стійкими до флуктуацій яскравості та наявності шумів у вхідному кадрі. Широко розповсюдженими є методи що використовують активну модель контурів - замкнену гладку криву, що задається набором точок який апроксимує контур. Найбільш відомими є методи [1, 7, 8, 13, 21, 23] тощо.
- Методи на основі виділення їх областей інтересу. Методи цієї групи є стійкими до таких явищ, як раптові зупинки і взаємний перетин двох або більше рухомих об'єктів. Область інтересу рухомого об'єкта це умовний прямокутник довкола нього, координати якого відомі у будь-який момент часу. Найбільш відомими методами групи є методи [3, 5, 14] тощо.
- Методи на основі виділення наборів опорних точок. В основі методів цієї групи є визначення точок кадру відеопослідовності за критеріальною ознакою, наприклад, локальним екстремумом функції інтенсивності. Найбільш відомими методами групи є детектори Харіса [11], KLT 20, Кітчена-Розенфільда [12], метод SIFT [15] та методи стеження за точками [24, 18, 19, 22] і ін.

Постановка задачі

Основним завданням роботи є розробка методу трекінгу об'єктів у відеопотоках розподілених систем відеоспостереження, що функціонують в online режимі чи режимі реального часу, який би забезпечував високу точність ідентифікації руху і побудови траєкторій при середній густині суб'єктів руху.

Метод трекінгу у зонах стеження камер розподілених систем відеоспостереження.

Визначення характеристичних ознак

Нехай у мережі камер відеоспостереження C_k , $k = 1, \dots, n$ поля зору камер C_i та C_j перетинаються. Для цієї пари камер, на основі методу, наведеного в [10], можна визначити їх просторове співвідношення шляхом побудови ліній перетину їх полів зору (рис.1).

Після знаходження відповідності між двома полями зору камер, за методом [17] можна визначити проєкційне перетворення координат зображення. Введемо коефіцієнт видимості перетину полів зору $V_i^j(u, v)$, який набуває значення одиниці у випадку, коли точка (x, y) поля зору камери $C_i(x, y)$ видима у полі зору камери $C_j(x, y)$. В іншому випадку – значення 0. Якщо деякий об'єкт інтересу B з координатами центроїда (u, v) що перебуває у полі зору камери $C_i(x, y)$, також видимий у полі зору камери $C_j(x, y)$, то підмножину поля зору камери, що містить об'єкт інтересу, можна задати таким виразом:

$$C_i(B) = \{C_j | V_i^j(u, v) = 1, j \neq i\}. \quad (1)$$

Якщо об'єкт інтересу перебуває лише у полі зору камери $C_i(x, y)$, то множина $C_i(B)$ є порожньою. Для пошуку та ідентифікації об'єкта у зоні перетину полів зору камер необхідно виділити такі ознаки подібності, як близькість до лінії перетину, колір та контур об'єкта.

Ознака близькості до лінії перетину полів зору. Обчислення відстані до лінії перетину дає змогу виділити об'єкт інтересу з-посеред інших об'єктів $C_j \in C_i(B)$ [6]. Для поля зору камери C_j сформуємо множину в виду:

$$CS_j^{i,s} = \left\{ B_j^k \mid d_1(B_j^k, l_j^{is}) < T_d, B_j^k \in C_j \right\}, \quad (2)$$

де $d_1(B_j^k, l_j^{is})$ – мінімальна відстань між точкою центроїда k -го об'єкта у полі зору камери C_j і лінією перетину полів зору камери C_i , яка видима у полі зору камери C_j ; T_d – наперед задане порогове значення, що залежить від розташування полів зору камер. Застосування виразу (2) дає змогу усунути об'єкти, які рухаються у напрямі зони перетину полів зору.

Ознака кольору. Колірна гістограма є стійкою ознакою при пошуку об'єкта інтересу з-посеред множини об'єктів-претендентів $CS_j^{i,s}$, проте навіть той же об'єкт може відображатись по-різному у зв'язку з наявністю флуктуацій яскравості. Зміну кольору можна змодельовувати використовуючи функцію перетворення яскравості [2, 16]. Застосування цієї функції компенсує різницю кольору між камерами перед обчисленням відстані між гістограмами кольорів у двох полях зору. Щоб обчислити функцію перетворення яскравості для кожної пари камер, поля зору яких перетинаються, необхідно використати кумулятивні гістограми зображень області перетину:

$$f_{Br}(\circ): \mathbf{R}^d \rightarrow \mathbf{R}^d, \quad (3)$$

де d – інтервал гістограми.

Для кожного об'єкта B_j^k у множині об'єктів-претендентів необхідно оцінити відстань $d_2(h_j^k, f_{Br}(h_i^n))$ між гістограмами $h_j^k, h_i^n \in \mathbf{R}^d$. Тут $f_{Br}(h_i^n)$ – гістограма n -го об'єкта у камері C_i після застосування функції перетворення яскравості f_{Br} .

Ознака контура. Контури об'єкта інтересу, що перебуває у зоні перетину камер, можуть також змінюватись, тому необхідно застосувати перетворення напрямку контурів. Позначимо через (x_i, y_i) та (x_j, y_j) – координати деякої точки у полі зору камер C_i та C_j , тоді проєкційне перетворення за напрямом лінії перетину полів зору можна записати у вигляді:

$$\begin{bmatrix} kx_j \\ ky_j \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Вираз (4) можна записати у розгорнутому вигляді:

$$k = gx_i + hy_i + 1; \quad (5)$$

$$x_j = \frac{ax_i + by_i + c}{k} = \frac{ax_i + by_i + c}{gx_i + hy_i + 1}; \quad (6)$$

$$y_j = \frac{dx_i + ey_i + f}{k} = \frac{dx_i + ey_i + f}{gx_i + hy_i + 1} \quad (7)$$

Продиференціювавши вирази (6) та (7) по x_i , отримаємо:

$$\frac{\partial x_j}{\partial x_i} = \frac{\left(a + b \frac{\partial y_i}{\partial x_i}\right)(gx_i + hy_i + 1) - (ax_i + by_i + c)\left(g + h \frac{\partial y_i}{\partial x_i}\right)}{(gx_i + hy_i + 1)^2}; \quad (8)$$

$$\frac{\partial y_j}{\partial x_i} = \frac{\left(d + e \frac{\partial y_i}{\partial x_i}\right)(gx_i + hy_i + 1) - (dx_i + ey_i + f)\left(g + h \frac{\partial y_i}{\partial x_i}\right)}{(gx_i + hy_i + 1)^2}. \quad (9)$$

Поділивши (8) на (9) отримаємо:

$$\frac{\partial y_j}{\partial x_j} = \frac{\left(d + e \frac{\partial y_i}{\partial x_i}\right) - y_j \left(g + h \frac{\partial y_i}{\partial x_i}\right)}{\left(a + b \frac{\partial y_i}{\partial x_i}\right) - x_j \left(g + h \frac{\partial y_i}{\partial x_i}\right)}. \quad (10)$$

Позначимо через m_i та m_j значення дотичних $\frac{\partial y_i}{\partial x_i}$ та $\frac{\partial y_j}{\partial x_j}$, тоді вираз (10) набере вигляду:

$$m_j = \frac{(d + em_i) - y_j (g + hm_i)}{(a + bm_i) - x_j (g + hm_i)}. \quad (11)$$

Вираз (10) є функцією перетворення дотичних, оскільки він дає можливість встановити відповідність між дотичними у полях зору двох камер. Значення дотичної у точці можна отримати з вектора градієнтів оператора Собеля, враховуючи те, що напрям дотичної завжди перпендикулярний до напрямку градієнта.

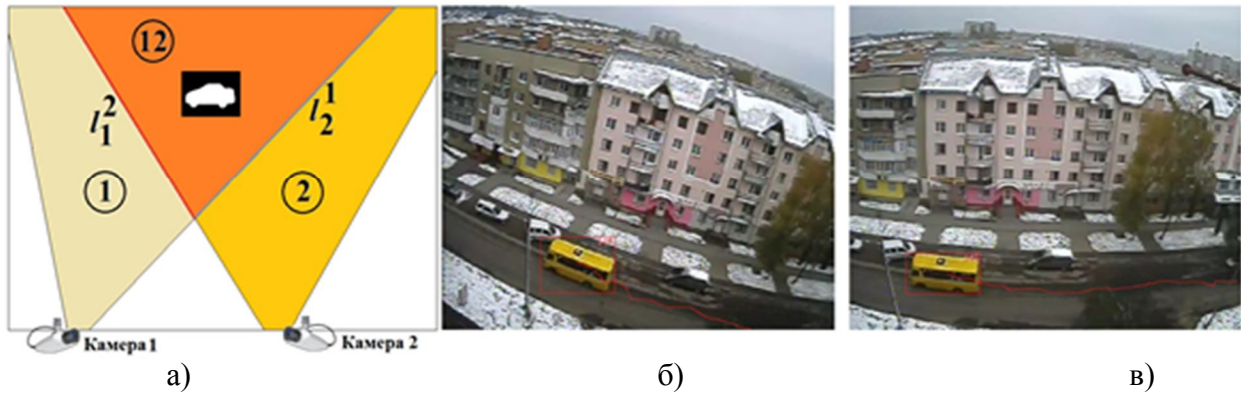


Рисунок 1 – Приклад розташування камер із взаємним перетином полів зору: а) схема розташування камер; б) відеокадр, отриманий з камери 1; в) відеокадр, отриманий з камери 2

Для точки (x_i, y_i) у полі зору камери C_i і значення дотичної m_i у цій точці застосуємо (11) для знаходження значення дотичної m_j . Застосуємо гістограму напрямлених дотичних для отримання напрямку контура. Таким чином, можна отримати значення дотичної у кожній точці об'єкта після переміщення його у поле зору іншої камери. Порівняння гістограм напрямлених дотичних можна здійснити обчисливши відстань між ними: $d_3(t_j^k, \tilde{t}_i^n)$, де $t_j^k \in \mathbf{R}^r$ – гістограма об'єкта B_j^k , \tilde{t}_i^n – гістограма n -го об'єкта у камері C_i після застосування функції перетворення дотичних, r – розмір гістограм.

Формулювання екстремальної задачі

Після застосування функції перетворення яскравості та функції перетворення дотичних до гістограм зображень об'єкта у полях зору камер, для обчислення відстані між гістограмами необхідно застосувати алгоритм пошуку землезсувної відстані (EMD) [9]. Використовуючи обчислені відстані між гістограмами: $d_1(B_j^k, l_j^{is})$, $d_2(h_j^k, f_{Br}(h_i^n))$ та $d_3(t_j^k, \tilde{t}_i^n)$ можна записати вираз для обчислення функції подібності об'єкта:

$$K = \arg \max_k e^{\left(-\left(\frac{d_1(B_j^k, l_j^{is})}{\sigma_1} \right)^2 - \left(\frac{d_2(h_j^k, f_{Br}(h_i^n))}{\sigma_2} \right)^2 - \left(\frac{d_3(t_j^k, \tilde{t}_i^n)}{\sigma_3} \right)^2 \right)}, \quad (12)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – параметри, що вибираються емпірично. Для відеокадрів, наведених на рис. 2, ці параметри набувають значень: $\sigma_1 = 12, \sigma_2 = 3, \sigma_3 = 4$.

Результати практичного моделювання і висновки

На рис. 2а та 2б наведено відеокадри з роздільною здатністю 704×576 пікселів, що отримані з камер 1 та 2 (рис. 1а). Для рухомого об'єкта, що перебуває у зоні перетину полів зору камер, побудовані гістограми яскравості (рис. 2в) та гістограми контурів (рис. 2г). На рис. 2в наведені такі гістограми яскравості: h_1 – для об'єкта в полі зору камери 2, h_2 – для об'єкта в полі зору камери 1 перед застосуванням функції перетворення яскравості [2], h_3 – для об'єкта в полі зору камери 1 після застосування функції перетворення яскравості [2].

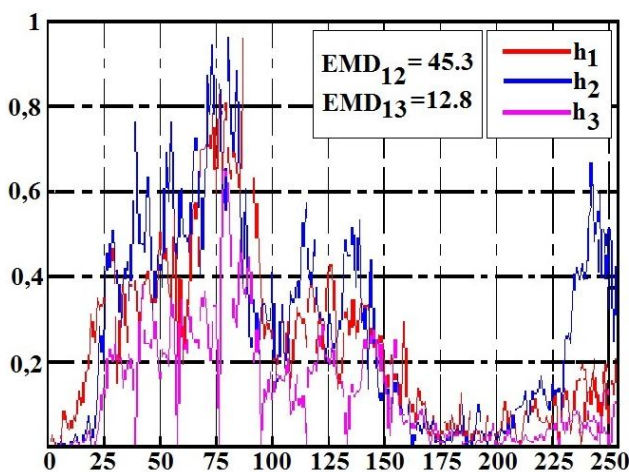
Для пар гістограм яскравості (h_1, h_2) та (h_1, h_3) обчислені землезсувні відстані EMD1 та EMD2 за методом [9]. На рис. 2г побудовані такі гістограми контурів об'єкта: h_1 – для об'єкта в полі зору камери 2, h_2 – для об'єкта в полі зору камери 1 перед застосуванням функції перетворення дотичних (11), h_3 – для об'єкта в полі зору камери 1 після застосування функції перетворення дотичних (11). Аналогічно, до гістограм яскравості обчислені відстані між парами гістограм контурів. Як видно з рис. 2в та 2г, використання функції перетворення яскравості та функції перетворення дотичних зменшує відстань між гістограмами, тому можна зробити висновок, що об'єкти у полі зору камер 1 та 2 збігаються.



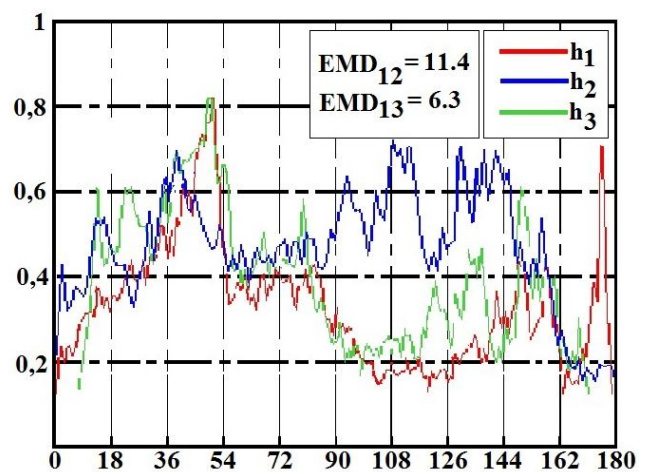
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2 – Результат супроводу рухомих об'єктів у зоні перетину полів зору камер відеоспостереження

На рис.3 наведено результат супроводу об'єктів у зоні перетину полів зору камер 1 та 2 (рис. 1а). Для ідентифікації кожного з об'єктів під час супроводу їм присвоюється мітка у вигляді порядкового номера i , і відображається у правому верхньому куті прямокутним, який містить цей об'єкт. Залежно від напрямку руху прямокутники довкола об'єктів та їхні траєкторії виділяються різними кольорами.

У загальному випадку оцінка ефективності роботи багатокамерної трекінгової системи забезпечується цілим комплексом спеціалізованих програмно-апаратних засобів, які забезпечують отримання інтегрального значення в автоматичному режимі з використанням стандартної бібліотеки відеопослідовностей. Така оцінка є витратною, тому на практиці використовують спрощені оцінки.

Ефективність методу супроводу у зоні перетину полів зору камер визначимо з виразу:

$$Q = \frac{N_L}{N_T} 100\%, \quad (13)$$

де N_L – кількість об'єктів, яким була присвоєна мітка у зоні перетину полів зору, N_T – загальна кількість об'єктів, що рухались у зоні перетину полів зору з моменту часу початку відеоспостереження.



Рисунок 3 – Результат супроводу рухомих об'єктів у зоні перетину полів зору камер відеоспостереження

Використовуючи вираз (11) отримано результати порівняння методу супроводу з використанням різних ознак та функцій перетворення яскравості і дотичних (табл. 2). У табл.2 використано такі позначення:

- #1 – Використання лише ознаки близькості до лінії перетину полів зору.
- #2 – Використання ознаки близькості та ознака кольору.
- #3 – Використання сукупності ознак близькості, кольору та контура.
- \$1 – Без використання функцій перетворення.
- \$2 – Використання лише функції перетворення яскравості.
- \$3 – Використання лише функції перетворення дотичних.
- \$4 – Використання обох функцій перетворення.

Таблиця 2

Порівняння ефективності методу супроводу з використанням ознак та функцій перетворення

	\$1	\$2	\$3	\$4
#1	62%	-	-	-
#2	64%	75%	-	-
#3	65%	90%	81%	92%

З даних, які наведено у табл. 2, видно, що результати супроводу з використанням лише ознак і без використання функцій перетворення яскравості та дотичних є практично однакові, а при застосуванні цих функцій ефективність зростає в середньому на 27%.

Практичні експерименти підтвердили можливість використання розробленого методу у системах до 8 камер роздільної здатності 704×576 пікселів за умови збереження вказаної ефективності.

Список літератури

1. Голосовкер Я. Э. Будущее систем видеонаблюдения: многокамерное сопровождение. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://synesis.ru/blog/article/budushhee-sistem-videonablyudeniya:-mnogokamernoe-soprovozhdenie>.
2. Пелешко Д. Д. Супровід рухомих об'єктів на основі обчислення зміщення їх обмежувальних областей у відеопослідовностях / Д. Д. Пелешко, Ю. С. Іванов // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: зб. міжнар. наук. конф.: Аналіз та моделювання складних систем і процесів. Теоретичні і прикладні аспекти систем прийняття рішень. Обчислювальний інтелект та індуктивне моделювання, 19-23 травня, 2014. – Херсон: ХНТУ, 2014. – С. 480-482.
3. Ballard D. H. Generalizing through Transform to Detect Arbitrary Shapes / D. H. Ballard // Pattern Recognition – Vol. 13. – P. 111-122.
4. Birchfield S. An Elliptical Head Tracker / S. Birchfield // Signals, Systems and Computers: proc. of 31st Asilomar Conference, Pacific Grove, California, November 1997. – IEEE, 1997. – P. 1710-1714.
5. Birchfield S. Elliptical Head Tracking Using Intensity Gradients and Color Histograms / S. Birchfield // Computer Vision and Pattern Recognition: proc. conference, Santa Barbara, CA, 23 - 25 Jun 1998. – IEEE, 1988. – P. 232-237.
6. Carson C. Region-based image querying / C. Carson, S. Belongie, H. Greenspan, J. Malik // Content-Based Access of Image and Video Libraries: proc. of IEEE workshop, San Juan, Puerto Rico. – 20-20 June 1997. – IEEE, 1997. – P. 42-49.
7. Chan T., Vese L. Active contours without edges / T. Chan, L. Vese // IEEE transactions on image processing – Vol. 10, № 3 – P. 266-277.
8. Chan T. Active contours without edges for vector-valued images / T. Chan, L. Vese, Y. Sandberg // Journal of Visual Communications and Image Representation – Vol. 11, № 2 – P.130-141.

9. Christiansen M., Martin H. Deblurring methods using antireflective boundary conditions / M. Christiansen, H. Martin // *SIAM Journal on Scientific Computing* – Vol. 30, № 2 – P.855–872.
10. Cipolla R. Computer Vision: Detection, Recognition and Reconstruction / Cipolla Roberto, Sebastiano Battiato, and Giovanni Maria Farinella, eds. // *Studies in Computational Intelligence*, Volume 285, Springer, 2010, 347 p.
11. Harris C., Stephens M. A Combined Corner and Edge Detector / C. Harris, M. Stephens // *Alvey Vision: proc. of Conference, Manchester 1988, 31st August - 2nd September 1988.* - University of Manchester. – p. 147-151.
12. Kitchen L., Rosenfeld A. Gray Level Corner Detection / L. Kitchen, A. Rosenfeld // *Pattern Recognition Letters* – Vol. 1 – P.95-102.
13. Kass M. Snake: Active Contour Models / M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos // *International Journal of Computer Vision* – Vol. 1 – P. 321-331.
14. Matas O., Robust Wide Baseline Stereo from maximally Stable Extremal Regions / O. Matas, O. Chum, M. Urban, T. Pajdla // *Image and Vision Computing* – Vol. 22, № 10. – P. 761-767.
15. Mikolajczyk K., Schmid C. A Performance Evaluation of Local Descriptors / // *Computer Vision and Pattern Recognition: proc. of IEEE Computer Society Conference, Madison, October 2005.* – IEEE, 2005. – p. 1615-1630.
16. Parker J. R. Algorithms for Image Processing and Computer Vision. – Wiley, 1996, 432 p.
17. Peleshko D. Automatic initial segmentation of speech signal based on symmetric matrix of distances / Y. Pelekh, M. Rashkevych, Y. Ivanov, I. Verbenko // *International journal of computer science and technology (IJCT)*. – Vol. 13, No. 9, 2014. – p. 4783-4790.
18. Rangarajan K., Shah M. Establishing Motion Correspondence / K. Rangarajan, M. Shah // *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* – Vol. 54. – 1991. – p.56-73.
19. Sethi I. K., Jain R. Finding Trajectories of Feature Points in a Monocular Image Sequence / I. K. Sethi, R. Jain // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* – Vol. 9. – 1987. – p.56-73.
20. Shi J., Tomasi C. Good Features to Track / J. Shi, C. Tomasi // *Computer Vision and Pattern Recognition: proc. of conference, Seattle, June 1994.* – p. 593-600.
21. Tissainayagam P., Suter D. Object Tracking in Image Sequences Using Point Features / P. Tissainayagam, D. Suter // *Pattern Recognition* – Vol. 38. - 2005. – p.105-113.
22. Veenman C. J. Resolving Motion Correspondence for Densely Moving Points / C. J. Veenman, J.T. Marcel, Reinders E. Backer // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* – Vol. 23. – 2001. – p. 54-72.
23. Xu C., Prince J. L. Snakes, Shapes, and Gradient Vector Flow / C. Xu, J. L. Prince // *IEEE Transactions on Image Processing* – Vol. 7. – 1998. – p. 359-369.
24. Yang F., Jiang T. Pixton-based image segmentation with markov random fields. *IEEE Transactions on Image Processing* – Vol. 12. – 2003. – p. 1552-1559.

References:

1. Holosovker, Ia.Э. (2009) Budushchee system vydeonabliudenyia: mnohokamernoe soprovozhdenye. [Elektronnyi resurs]: [Veb-sait]. – Rezhym dostupu: <http://synesis.ru/blog/article/budushhee-sistem-videonablyudeniya:-mnogokamernoe-soprovozhdenie>. (in Russ.)
2. Peleshko, D.D., Ivanov, Iu.S. (2014) “Suprovid rukhomykh ob’iektiv na osnovi obchyslennia zmishchennia yikh obmezhuvalnykh oblastei u videoposlidovnostiakh” *Intelektualni systemy pryiniattia rishen i problemy obchysliuvalnoho intelektu: zb. mizhnar. nauk. konf.* [Intellectual Systems of Decision-making and Problem of Computational Intelligence] Kherson, KhNTU, 19-23 May, 2014. pp. 480-482. (in Ukr.)
3. Ballard, D. H. (1981) “Generalizing through Transform to Detect Arbitrary Shapes”, *Pattern Recognition*, Vol. 13, pp. 111–122.

4. Birchfield, S. (1997) "An Elliptical Head Tracker" *Signals, Systems and Computers, Proc. of 31st Asilomar Conference*, Pacific Grove, California, November 1997, IEEE, pp. 1710-1714.
5. Birchfield, S. (1998) "Elliptical Head Tracking Using Intensity Gradients and Color Histograms", *Computer Vision and Pattern Recognition, Proc. of conference*, Santa Barbara, CA, 23 - 25 Jun 1998, IEEE, pp. 232-237.
6. Carson, C., Belongie, S., Greenspan, H. and Malik J. (1997) "Region-based image querying", *Content-Based Access of Image and Video Libraries, Proc. of IEEE workshop*, San Juan, Puerto Rico, 20-20 June 1997, IEEE, pp. 42-49.
7. Chan, T. and Vese, L. (2001) "Active contours without edges", *IEEE transactions on image processing*, Vol. 10, № 3, pp. 266-277.
8. Chan, T., Vese, L. and Sandberg, Y. (2000) "Active contours without edges for vector-valued images", *Journal of Visual Communications and Image Representation*, Vol. 11, № 2, pp.130-141.
9. Christiansen, M. and Martin, H. (2008) "Deblurring methods using antireflective boundary conditions", *SIAM Journal on Scientific Computing*, Vol. 30, № 2, pp. 855-872.
10. Cipolla, R., Sebastiano, B., and Giovanni, M. F., eds. (2010) "Computer Vision: Detection, Recognition and Reconstruction", *Springer*, 347 p.
11. Harris, C. and Stephens, M. (1988) "A Combined Corner and Edge Detector", *Alvey Vision, Proc. of Conference*, Manchester 1988, 31st August – 2nd September 1988, University of Manchester, pp. 147-151.
12. Kitchen, L. and Rosenfeld, A. (1982) "Gray Level Corner Detection", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 1, pp.95-102.
13. Kass, M., Witkin, A. and Terzopoulos, D. (1988) "Snake: Active Contour Models", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 1, pp. 321-331.
14. Matas, O., Chum, O., Urban, M. and Pajdla, T. (2002) "Robust Wide Baseline Stereo from maximally Stable Extremal Regions", *Image and Vision Computing*, Vol. 22, № 10, pp. 761-767.
15. Mikolajczyk, K. and Schmid, C. (2005) "A Performance Evaluation of Local Descriptors", *Computer Vision and Pattern Recognition, Proc. of IEEE Computer Society Conference*, Madison, October 2005, IEEE, pp. 1615-1630.
16. Parker, J. R. (1996) "Algorithms for Image Processing and Computer Vision". – Wiley, 432 p.
17. Peleshko, D., Pelekh, Yu., Rashkevych, M., Ivanov, Yu. And Verbenko, I. (2014) "Automatic initial segmentation of speech signal based on symmetric matrix of distances", *International journal of computer science and technology (IJCT)*, Vol. 13, No. 9, pp. 4783-4790.
18. Rangarajan, K., Shah M. (1991) "Establishing Motion Correspondence", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 54, pp.56-73.
19. Sethi, I. K., Jain, R. (1987) "Finding Trajectories of Feature Points in a Monocular Image Sequence", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 9, pp.56-73.
20. Shi, J., Tomasi, C. (1994) "Good Features to Track", *Computer Vision and Pattern Recognition, Proc. of conference*, Seattle, June 1994, pp. 593-600.
21. Tissainayagam, P. And Suter, D. (2005) "Object Tracking in Image Sequences Using Point Features", *Pattern Recognition*, Vol. 38, pp.105-113.
22. Veenman, C. J., Marcel, C. J., Veenman, J.T. and Reinders, E. Backer (2001) "Resolving Motion Correspondence for Densely Moving Points", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 23, pp. 54-72.
23. Xu, C. and Prince, J. L. (1998) "Snakes, Shapes, and Gradient Vector Flow", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 7, pp. 359-369.
24. Yang, F. and Jiang, T. (2003) "Pixton-based image segmentation with markov random fields" *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 12, pp. 1552-1559.

